

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra strojírenské technologie

Návrh technologického postupu svařování parovodu
Proposal of the technological procedure for steam
pipeline welding

Student: Robert Maršál

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Jaroslav Koukal, CSc.

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Robert Maršál**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Specializace: 70 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh technologického postupu svařování parovodu**
Proposal of the Technological Procedure for Steam Pipeline Welding

Zásady pro vypracování:

Zpracovat studii svařitelnosti uhlíkových ocelí a metody svařování 141. Navrhnout technologický postup svařování parovodu včetně návrhu nedestruktivních a destruktivních zkoušek. Provést a vyhodnotit navržené experimenty. Zpracovat závěr bakalářské práce.

Thesis should consist of the following main parts:

Study of the carbon steel weldability and 141 welding method. Proposal of the technological procedure for steam pipeline welding including nondestructive and destructive tests. Evaluation of the proposed and realized tests. Bachelor thesis summary.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOUKAL, Jaroslav; SCHWARZ, Drahomír; HAJDÍK Jiří. *Materiály a jejich svařitelnost*. Vyd. 1. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o., VŠB-Technická Univerzita, 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
KOUKAL, Jaroslav; ZMYDLENÝ, Tomáš. *Svařování I*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2005. 136 s. ISBN 80-248-0870-6.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jaroslav Koukal, CSc.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



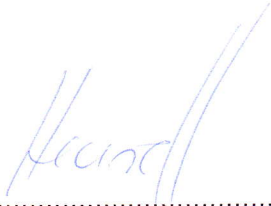

prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2010




.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3)
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše)
- беру на ве́доміі, že odevzdání své práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 21.5.2010


.....
podpis studenta

Robert Maršál

U Lesa č.66. Ostrava Hrabůvka 70030.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MARŠÁL, R. *Návrh technologického postupu svařování parovodu. Bakalářská práce*
Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra strojírenské
technologie, 2010, 40 s.

Vedoucí práce: prof. Ing. Jaroslav Koukal, CSc.

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou svařování parovodu a návrhu technologického postupu svařování. První část obsahuje studii svařitelnosti uhlíkových ocelí a studii svařování metodou 141 (obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu WIG, TIG). V druhé části bakalářské práce je provedena kvalifikace postupu svařování a navržen technologický postup svařování parovodu, včetně návrhu destruktivních a nedestruktivních zkoušek. Technologický postup svařování je zpracován s ohledem na specifické podmínky parovodu, parní komory kotle č. 10 závodu 4 - Energetika, podniku Arcelor Mittal Ostrava.

ANNOTATION OF THESIS

MARŠÁL, R. *Proposal of the technological procedure for steam pipeline welding.*
Ostrava: VSB – Technical university of Ostrava, Department of Mechanical Technology,
2010, 40 s.

Thesis head: prof. Ing. Jaroslav Koukal, CSc.

This bachelor thesis deals with the problems connected with steam pipeline welding and the proposal for welding procedure. The first part contents the study of carbon steel weldability and the study of 141 welding method (wolfram arc welding in WIG, TIG inert gas). The technology procedure of steam pipeline welding, including the destructive and non-destructive test concept, is proposed in the second part of the thesis as well as the classification of welding procedure. The technology procedure of welding is designed with respect to the specific conditions of the steam pipeline, and the steam chamber of boiler No.10 at Plant 4 – Power Plant of Arcelor Mittal Ostrava.

Obsah

	Strana
Použité symboly	- 10 -
1 Úvod	- 11 -
2 Teoretická část	- 11 -
2.1 Svařitelnost uhlíkových ocelí	- 11 -
2.2 Prvky ovlivňující svařitelnost uhlíkových ocelí	- 11 -
2.3 Závislost tvrdosti na obsahu % C	- 12 -
2.4 Předehřev uhlíkových ocelí	- 13 -
2.5 Dohřev uhlíkových ocelí	- 14 -
2.6 Přídavný materiál	- 14 -
2.7 ARA diagram (anizotermický rozpad austenitu).....	- 15 -
3 Metoda svařování 141 (TIG, WIG)	- 16 -
3.1 Vznik svarového spoje	- 16 -
3.2 Deformační cyklus svařováním TIG.....	- 17 -
3.3 Svařovací oblouk a jeho vlastnosti	- 17 -
3.4 Svařovací oblouk.....	- 19 -
3.5 Elektrický oblouk	- 19 -
3.6 Netavící se wolframové elektrody.....	- 20 -
3.7 Ochranné plyny	- 22 -
3.8 TIG svařování a jeho výhody.....	- 24 -
3.9 TIG svařování a jeho nevýhody.....	- 24 -
3.10 Využití TIG svařování	- 24 -
4 Praktická část	- 25 -
4.1 Kvalifikace postupu svařování obecně	- 25 -
4.2 Postup při kvalifikaci postupu svařování pro opravu parovodu	- 26 -
4.3 Vlastnosti základního materiálu	- 26 -
4.4 Vlastnosti přídavného materiálu	- 27 -
4.5 Úprava svarových ploch	- 27 -
4.6 Parametry a metody svařování.....	- 28 -
4.7 Postup svařování zkušebních vzorků	- 28 -
4.8 Kvalifikace svářeče	- 29 -
5 Návrh destruktivních a nedestruktivních zkoušek a jejich vyhodnocení.....	- 30 -
5.1 Požadované nedestruktivní zkoušky dle ČSN EN ISO 15614-1	- 30 -
5.2 Požadované destruktivní zkoušky.	- 31 -
5.3 Protokol o schválení postupu svařování	- 35 -
6 Oprava parního potrubí svařováním.....	- 35 -
6.1 Charakteristika poruchy.....	- 35 -

6.2	Proudící médium	- 35 -
6.3	Postup opravy vady.....	- 35 -
6.4	Stanovení charakteru vady a příčin jejího vzniku.....	- 36 -
6.5	Technologický postup opravy parovodu	- 36 -
Závěr		- 37 -
Použitá literatura		- 38 -
Seznam příloh		- 40 -

Seznam tabulek

	strana
Tabulka č.1 Maximální kombinovaná tloušťka bez přehřevu.....	- 13 -
Tabulka č.2 Přehled tloušťek uhlíkových ekvivalentů podle IIW.....	- 13 -
Tabulka č.3 Teplota přehřevu v závislosti na obsahu uhlíku	- 14 -
Tabulka č.4 Schéma značení wolframových elektrod	- 20 -
Tabulka č.5 Wolframové elektrody v těchto rozměrech.....	- 21 -
Tabulka č.6 Charakteristika a rozsah použití TIG	- 25 -
Tabulka č.7 Vlastnosti základního materiálu	- 26 -
Tabulka č.8 Vlastnosti přídatného materiálu Ø 2 mm.....	- 27 -
Tabulka č.9 Vlastnosti přídatného materiálu Ø 2,5 mm.....	- 27 -
Tabulka č.10 Parametry svařování.	- 29 -
Tabulka č.11 Kvalifikace svářeče pro zhotovení daného svaru.....	- 29 -
Tabulka č.12 Výsledky zkoušky tahem	- 31 -
Tabulka č.13 Výsledky zkoušky lámavosti ohybem	- 31 -
Tabulka č.14 Výsledky zkoušky rázem v ohybu.....	- 32 -
Tabulka č.15 Výsledky zkoušky tvrdosti	- 33 -
Tabulka č.16 Výsledky zkoušky makrostruktury.....	- 34 -

Seznam obrázků

	strana
Obr. 2.1: Závislosti svarového spoje na obsahu uhlíku v oceli a na procento martenzitu ve struktuře tepelně ovlivněné oblasti.	- 12 -
Obr. 2.2: Křivka tečení materiálu (creep)	- 14 -
Obr.2.3: ARA diagram anizotermického rozpadu austenitu	- 15 -
Obr.3.1: Zobrazení schéma technologie svařování 141	- 16 -
Obr. 3.2: Možné polarity při svařování TIG	- 18 -
Obr. 3.3: Elektrický oblouk.....	- 20 -
Obr. 3.4: Správné podélné broušení wolframové elektrody.	- 21 -
Obr.3.5: Tvar konce wolframové elektrody.	- 22 -
Obr. 3.6: Vliv směru broušení elektrody.....	- 22 -
Obr. 3.7: Barevné značení plynu argon	- 23 -
Obr. 3.8: Barevné značení plynu hélum.....	- 23 -
Obr. 4.2: Zkušební vzorek dle normy ČSN EN 15614-1.....	- 26 -
Obr.4.3: Tvar svarového spoje	- 28 -
Obr.4.4: Postup kladení svarových housenek.....	- 28 -

Použité symboly

VŠB TUO	Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava
ČSN EN	česká technická norma, která přejímá evropskou normu
TOO	tepelně ovlivněná oblast
hm	hmotnostní procento
HV	tvrdost podle Vickerse
HRC	tvrdost podle Rockwella
MPa	mega pascal
%	procenta
°C	stupeň Celsia
C	uhlík
P	fosfor
Mn	mangan
S	síra
H ₂	vodík
Si	křemík
N ₂	dusík
O ₂	kyslík
He	hélium
Ar	argon
Ø	průměr
tab.	tabulka
obr.	obrázek
A	amper (proud)
V	volt (napětí)
pWPS	předběžná kvalifikace postupu svařování
WPQR	protokol o kvalifikaci postupu svařování
WPS	kvalifikovaná specializace postupu svařování

1 Úvod

V této bakalářské práci se budu zabývat opravou potrubí parovodu parní komory pro dopravu syté páry o teplotě 320°C a tlaku 11.3 MPa. Potrubí je součástí zařízení kotle č. 10 teplárny závodu 4 – Energetika, Arcelor Mittal Ostrava.

V teoretické části se zabývám svařitelností uhlíkových ocelí a studií metody svařování 141 (obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu, WIG, TIG), která je aplikována na opravu výše uvedeného parovodu.

V praktické části jsem zpracoval kvalifikaci postupu svařování trubky $\varnothing = 76 \times 6.3$ mm návrhu technologického postupu svařování parovodu parní komory.

2 Teoretická část

2.1 Svařitelnost uhlíkových ocelí

„Kovový materiál se považuje za svařitelný do určitého stupně při daném způsobu svařování a pro daný účel, lze-li odpovídajícím technologickým postupem svařování dosahovat kovové celistvosti svarových spojů tak, že tyto spoje vyhovují technickým požadavkům, jež se týkají jak vlastností samotných spojů, tak i vlivu těchto spojů na konstrukční celek, jehož součástí tyto spoje jsou.“ [1]

Svařitelnost uhlíkových ocelí má přímou závislost na obsahu uhlíku a dalších chemických prvků v oceli. Obvykle jsou u uhlíkových ocelí porovnávány obsahy C, Mn, Si, P a S. Tvrdost, mez pevnosti a kluzu se se zvyšujícím procentem uhlíku zvyšuje, ale jejich plastické vlastnosti se snižují. S rostoucím obsahem uhlíku se také zvyšuje náchylnost uhlíkových ocelí k zakalení svarových spojů. Tvrdost vznikajícího martenzitu se zvyšuje s rostoucím obsahem uhlíku v oceli. Současně se zvyšuje náchylnost na vznik studených trhlin především v TOO (tepelně ovlivněné oblasti) svarového spoje.

2.2 Prvky ovlivňující svařitelnost uhlíkových ocelí

„**Křemík:** V nelegovaných uhlíkových ocelích zvyšuje pevnost feritu. Působí silně desoxidačně. Nedostatek křemíku vede k tomu, že ocel je neuklidněná .

Mangan: Zvyšuje mez kluzu i mez pevnosti, aniž by byla snížena plasticita. Snižuje obsah síry v oceli nebo ve svarovém kovu. Mangan se společně s křemíkem používají k výrobě uklidněných ocelí, oba působí deoxidačně.

Fosfor: Jeho přítomnost snižuje plasticitu v oceli. Způsobuje zkřehnutí za studena, a proto se u nelegovaných ocelí omezuje jeho obsah na 0,05 hm. %.

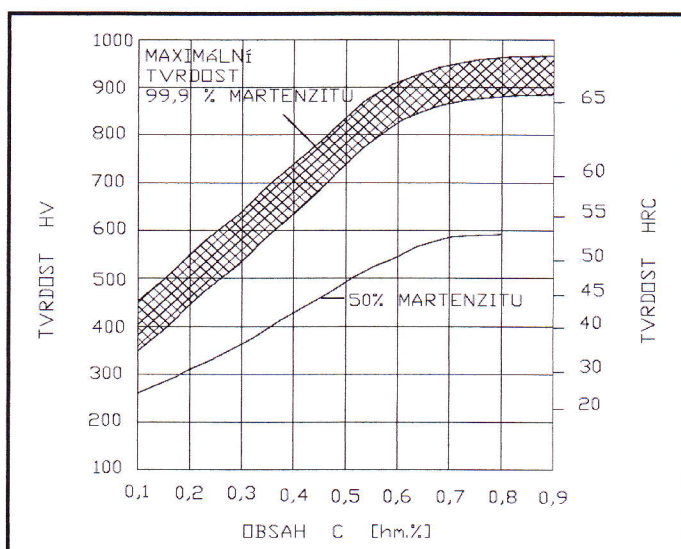
Jeho škodlivé působení:

- zvyšuje sklon k trhlinám za tepla tím, že prodlužuje dvoufázovou oblast v rozmezí teplot 1534 až 1050°C.
- způsobuje zkřehnutí tuhého roztoku, dochází tak k trhlinám (za studena). Zkřehnutí feritu lze prokázat prudkým snížením hodnoty vrubové houževnatosti při posuvu tranzitních teplot.

Síra: Někdy se do nelegovaných konstrukčních ocelí přidává úmyslně za účelem zlepšení obrobitelnosti. Dovolенý obsah síry je maximálně 0.05 hm. %. Železo a sulfid železnatý tvoří nízko tavitelné eutektikum, jehož bod tavení se vlivem oxidu posouvá ještě k nižším hodnotám. Kritický je rozsah teplot mezi tavením železa 1534°C a teplotou tavení eutektika 988°C. V tomto rozsahu je tuhý roztok γ v rovnováze s tekutou fází, která může dosáhnout eutektické koncentrace 31 hm. %. Proto při svařování dochází k natavení eutektika na hranicích zrn a tím nastane porušení materiálu. Tento jev se nazývá náchylnost na vznik teplých trhlin.“ [2]

2.3 Závislost tvrdosti na obsahu % C

„Závislost tvrdosti a procenta martenzitu ve struktuře TOO svarového spoje na obsahu uhlíku v oceli je znázorněn na (obr. 2.1). Z této závislosti bylo stanoveno kritérium maximální přípustné tvrdosti v TOO svarového spoje uhlíkové oceli **350HV**. Odpovídá obsahu uhlíku v oceli **0,25%** a **50%** obsahu martenzitu ve struktuře.“ [2]



Obr. 2.1: Závislosti svarového spoje na obsahu uhlíku v oceli a na procentu martenzitu ve struktuře tepelně ovlivněné oblasti

2.4 Předehřev uhlíkových ocelí

Obsah uhlíku ve svařitelných ocelích je proto omezován na hodnotu $C \leq 0.25 \%$. Při tomto obsahu uhlíku ve svarovém spoji u menších tloušťek není nutný předehřev. Norma ČSN EN 1011-2 doporučuje nepředehřívát svarové spoje uhlíkových ocelí s mezí pevnosti do 700 MPa, při splnění následujících kritérií, tab. č. 1. [1]

Tabulka č.1 Maximální kombinovaná tloušťka bez předehřevu

Obsah vodíku (ml/100g svar. kovu)	Maximální kombinovaná tloušťka (mm)			
	CE = 0,49		CE = 0,43	
	Tepelný příkon		Tepelný příkon	
	1,0 kJ/mm	2,0 kJ/mm	1,0 kJ/mm	2,0 kJ/mm
> 15	25	50	40	80
$10 \leq 15$	30	55	50	90
$5 \leq 10$	35	65	60	100
$3 \leq 5$	50	100	100	100
≤ 3	60	100	100	100
Při obsahu vodíku měřeno podle ISO 3690.				

Mezní hodnoty které je možné svařovat bez předehřevu v závislosti na *ekvivalentu* CE, viz tab.1. a 2. [1]

Tabulka č.2 Přehled tloušťek uhlíkových ekvivalentů podle IIW

Tloušťka svaru s [mm]	Obsah C [%]	$C_{E IIW}$
$s \leq 25$	$C \leq 0.22$	$C_{E IIW} \leq 0.45$
$s \leq 37$	$C \leq 0.22$	$C_{E IIW} \leq 0.41$

V případě svařování uhlíkové oceli s vysokým obsahem uhlíku se předehřev používá, obvykle při teplotách uvedených v tab. 3. [1] Svařování s vysokým tepelným příkonem má podobný účinek jako teplota předehřevu, protože více ohřívá okolí svaru a tím dochází k jeho pomalejšímu ochlazování. K tomuto účelu se používají větší průměry elektrod nebo metody svařování s vyšším tepelným příkonem na jednotku délky svaru.

Vzhledem k tomu, že potřebnou výšku teploty předehřevu pro zamezení vzniku studených trhlin ovlivňují kromě chemického složení oceli také obsahy difusního vodíku, tepelný příkon do svaru a tuhost konstrukce, je spolehlivější se o nutnosti použití předehřevu přesvědčit výpočtem.

Tabulka č.3 Teplota předehřevu v závislosti na obsahu uhlíku

Obsah uhlíku [hm.%]	Teplota předehřevu [°C]
0.20 až 0.30	100 až 150
0.30 až 0.45	150 až 275
0.45 až 0.80	275 až 425

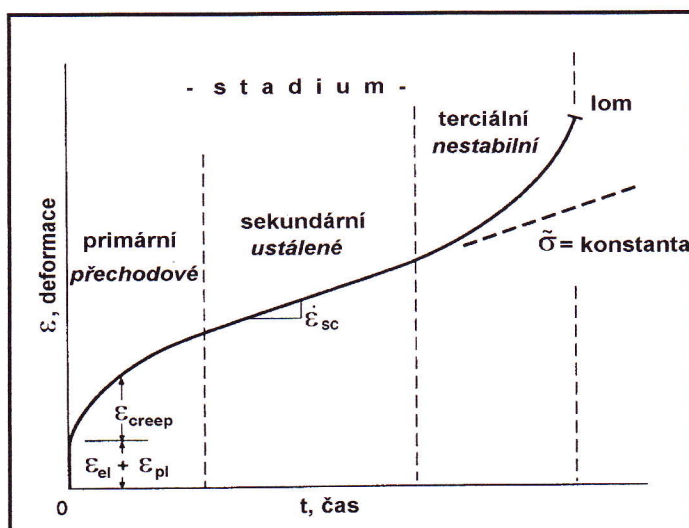
2.5 Dohřev uhlíkových ocelí

Dohřev se u svarových spojů uhlíkových ocelí obvykle nepoužívá. Teplota interpass (teplota mezi jednotlivými housenkami) se rovněž u svarových spojů uhlíkových ocelí většinou nepředepisuje.

U svarových spojů ocelí s vyšším obsahem uhlíku se však doporučuje aplikovat dohřev, a to na teplotě min. 200 °C po dobu 2 až 6 hodin pro snížení obsahu vodíku ve svaru. Svařence větších tloušťek se navíc tepelně zpracovávají žiháním na snížení zbytkových napětí při teplotách 550 až 650 °C.

2.6 Přídavný materiál

Přídavné materiály pro svařování uhlíkových ocelí se volí podle požadovaných mechanických vlastností svarového kovu, které musí odpovídat vlastnostem požadovaným pro danou konstrukci. Některé uhlíkové oceli např. 12022, 12021 mohou trvale pracovat při teplotách tečení materiálu (creepu). Kritériem pro výběr přídavného materiálu je v tomto případě mez pevnosti při tečení R_{mT} svarového kovu, který se nataví ze zvoleného přídavného materiálu. Požaduje se, aby se R_{mT} svarového kovu rovnala R_{mT} základního materiálu.



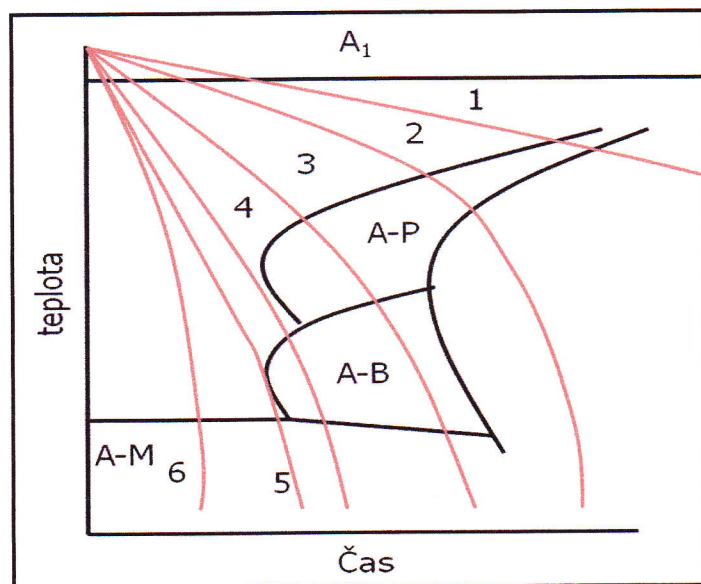
Obr. 2.2: Křivka tečení materiálu (creep)

Deformace, která za vyšší teploty roste s časem, se nazývá tečení, cizím slovem CREEP. Deformační křivku (obr. 2.3) lze rozdělit na tři části, jimž odpovídá třem stádiím tečení: primární, sekundární (využití v praxi) a terciální (k lomu). Materiály s rozsáhlým sekundárním stádiem creepu jsou vítané v praxi, protože součástí se s časem při vysoké teplotě při daném konstantním napětí deformují lineárně.

2.7 ARA diagram (anizotermický rozpad austenitu)

Ara diagram podává cenné informace o možných komplikacích při svařování daného materiálu. V oblasti svaru se u uhlíkových ocelí může vyskytnout bainitická a martenzitická struktura podle rychlosti ochlazování svarového kovu a tepelně ovlivněné oblasti. Vznik nežádoucích struktur martenzitu a spodního bainitu lze zabránit přehřevem.

Ara diagram popisuje plynulé ochlazování austenitu různou rychlostí ochlazování (obr. 2.3). Při ochlazování uhlíkových ocelí vzniká při určitém přechlazení v austenitu perlit (křivky 1 a 2). Tuto strukturu lze označit za vyhovující oblast svaru. Při vyšší rychlosti ochlazování nestačí všechny austenit transportovat a jeho část se zachová až do teplot, kdy již probíhá přeměna bainitická. V tomto případě se ve výsledné struktuře (křivka 3) objeví spolu s perlitem také bainit. Podle křivky č. 4 probíhá rozpad austenitu přímo na bainit. Se vzrůstající rychlostí ochlazování se podíl martenzitu ve struktuře zvětšuje až od určité rychlosti ochlazování (křivka 5), austenit přímo transformuje na martenzit, z části se však zachová jako zbytkový austenit.



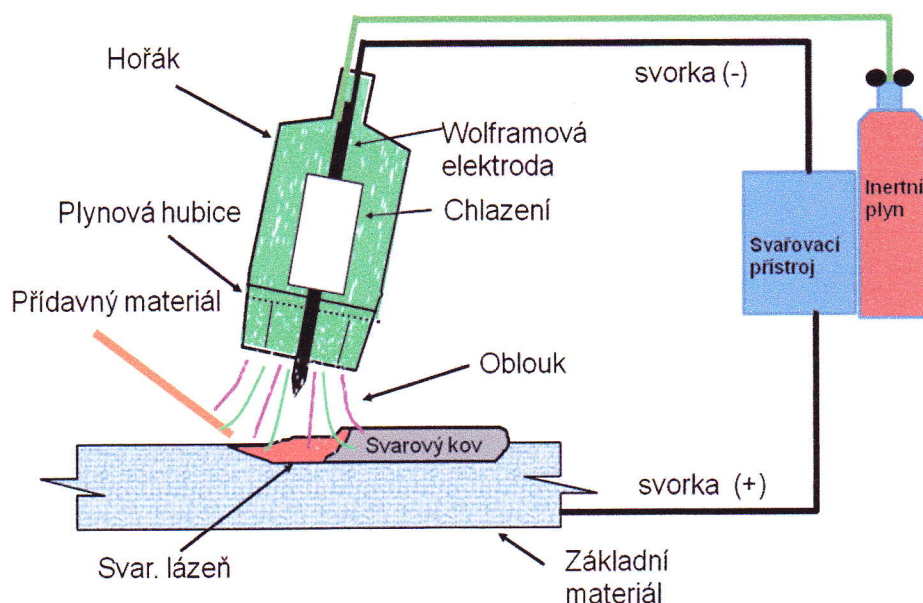
Obr.2.3: ARA diagram anizotermického rozpadu austenitu

3 Metoda svařování 141 (TIG, WIG)

Mezinárodní značení TIG (Tungsten inert gas welding), WIG (wolfram inert gas).

TIG a WIG je totožný. Označení TIG pochází z angličtiny a znamená Tungsten inert gas welding, v překladu – v ochranné atmosféře inertního plynu. Označení WIG pochází z němčiny a znamená wolfram inert gas, tedy stejné znění, dále jen TIG.

Tento způsob svařování patří do obloukového svařování. Elektrický oblouk hoří mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem v prostředí inertního plynu. Elektrický oblouk a svarová lázeň jsou chráněny inertním plynem, který je přiváděn plynovou hubicí.



Obr.3.1: Zobrazení schéma technologie svařování 141

3.1 Vznik svarového spoje

Základním komponentem při výrobě svarového spoje je svarová housenka. Při průběhu svařování TIG se vytváří postupným natavováním svarových ploch přídavného materiálu a tuhnutím svarové lázně. Několik housenek v jedné rovině vytváří vrstvu svaru, více vrstev vytváří vícevrstevný svar. První položená housenka se nazývá kořenová. Pod pojmem svarový kov se rozumí ta část spoje, která se při svařování přímo natavila na teplotu tavení kovu.

Proces výroby svarového spoje tvořené touto metodou lze rozdělit do těchto etap:

- ▶ lokální ohřev materiálu na pracovní teplotu
- ▶ vytvoření svarové lázně požadovaných rozměrů
- ▶ tuhnutí (krystalizace) svarové lázně a vytvoření svaru
- ▶ chladnutí svarového spoje na teplotu okolí

Rozdělení z fyzikálně - metalurgického hlediska svařovacího děje:

- ▶ ohřev a tavení základního a přídavného materiálu
- ▶ metalurgické děje ve svarové lázni
- ▶ krystalizace svaru
- ▶ deformační změny vyvolané vytvářejícím teplotním cyklem při svařování

Rozdělení charakteristických oblastí svarového spoje:

- ▶ svarový kov (oblast přímého tavení)
- ▶ tepelně ovlivněná oblast (oblast zahřátého základního materiálu po obou stranách svaru)
- ▶ základní materiál (oblast tepelně neovlivněná svařením)

3.2 Deformační cyklus svařováním TIG

Deformační cyklus svařování je vyvolaný nerovnoměrným ohřevem základního materiálu při tavném svařování.

Při deformaci v oblasti spoje, působí místní tlakové a tahové napětí. Působením těchto sil se lokálně přetváří oblast svarového spoje. A tímto lokálním napětím se koncentruje i deformace. V některých případech se deformační schopnost materiálu v určité části svarového spoje vyčerpá natolik, že vzniknou vady typu trhlin. Trhliny jsou tedy důsledkem napěťového působení.

Cílem svařování je vytvořit celistvé svarové spoje, to znamená bez trhlin a vad. Při svařování metodou 141 (TIG, WIG) je třeba věnovat pozornost nejen metalurgickým dějům, ale i účinkům a důsledkům vyvolaných deformačním cyklem svařování.

3.3 Svařovací oblouk a jeho vlastnosti

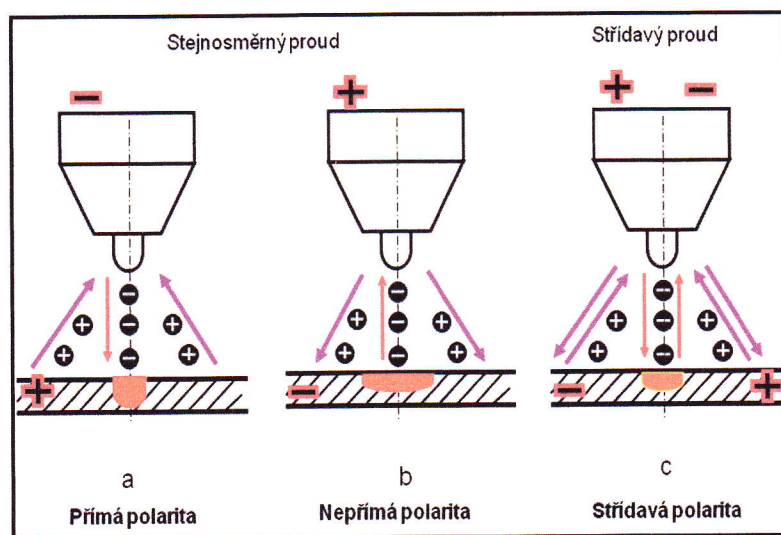
Při svařování se zapaluje elektrický oblouk, který hoří mezi netavící elektrodou a základním materiálem v prostředí inertního plynu.

Tepelný výkon svařovacího oblouku závisí na velikosti svařovacího proudu, velikosti napětí na oblouku a rychlosti svařování.

Tepelný výkon svařovacího oblouku je závislý na:

- ▶ druhu a polaritě svařovacího proudu
- ▶ velikosti svařovacího proudu [A] – ta je téměř konstantní
- ▶ velikosti svařovacího napětí [V] na oblouku, kterou ovlivňuje:
 - plyn
 - délka oblouku
 - materiál elektrody
 - základní materiál

Na tavení kovu při tomto svařování má podstatný podíl teplo uvolněné na základním materiálu. Množství tepla značně závisí na polaritě základního materiálu (podstatně větší množství tepla se uvolňuje na anodě). Změnou polarity na základním materiálu můžeme měnit tepelný účinek oblouku na povrchu základního materiálu, který má za následek změnu rozměru svarové housenky.



Obr. 3.2: Možné polarity při svařování TIG

Při svařování stejnosměrným proudem na přímé polaritě:

- ▶ zapojení netavící wolframové elektrody na záporný pól svařovacího zdroje a základní materiál na kladný pól. Svarová housenka je charakterizována :
 - malou šířkou
 - velkou hloubkou

Svařování stejnosměrným proudem na nepřímé polaritě:

- ▶ zapojení netavící wolframové elektrody na kladný pól svařovacího zdroje a základního materiálu na záporný pól. Svarová housenka je charakterizována :
 - velkou šířkou
 - malá hloubka

Svařování střídavým proudem – polarita se mění na svorkách zdroje proudu s danou frekvencí (polarita základního materiálu se mění 50x za sekundu).

- polarita se mění danou frekvencí na netavící wolframové elektrodě a základním materiálu. Svarová housenka je charakterizována :

- Rozměry - šířka svarové housenky i hloubka průvaru je v rozmezí mezi rozměry svarové housenky předešlých polarit.

3.4 Svařovací oblouk

Je vlastně specifický vodič (spotřebič). Vyznačuje se tím, že při různé polaritě na výstupu (na elektrodě) a na výstupu (na svařovacím materiálu) zásadně mění svoje fyzikální a tepelné účinky. Tím se mění též technologické vlastnosti svařovacího oblouku při svařování stejnosměrným proudem na přímé polaritě, od vlastností svařovacího oblouku při svařování stejnosměrným proudem na nepřímé polaritě.

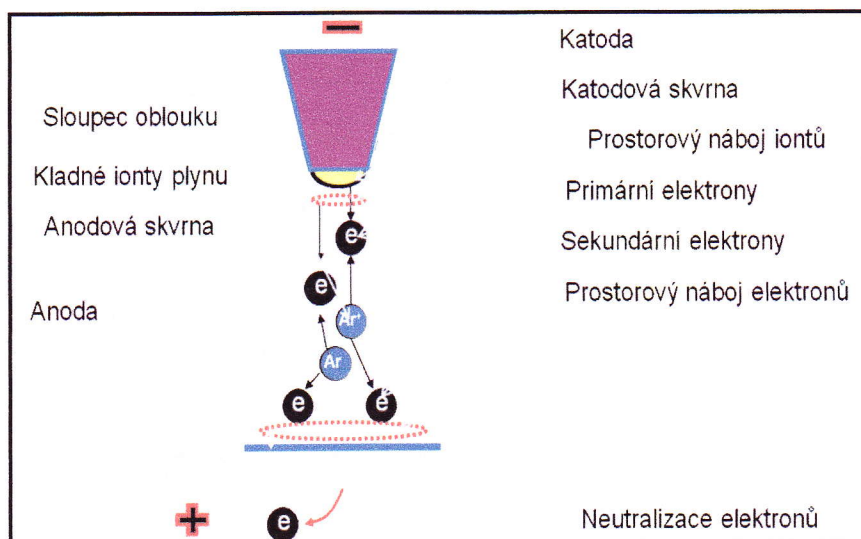
3.5 Elektrický oblouk

Elektrický oblouk je zvláštní forma elektrického výboje v plynech. Jeho charakteristické znaky jsou ionizace plynného prostředí a uvolnění značného množství tepla. Elektrický oblouk je možné zapálit zkratem nebo bez zkratu – pomocí vysokého napětí a vysoké frekvence. Na tento způsob se používá vysokofrekvenční ionizátor. Každý elektrický oblouk má tři základní oblasti – obr. 3.3 .

Katodová oblast – na povrchu katody s katodovou skvrnou.

Sloupec oblouku – prostor mezi elektrodami tvořený ionizovaným plynem.

Anodová oblast – na povrchu anody s anodovou skvrnou.



Obr. 3.3: Elektrický oblouk

3.6 Netavící se wolframové elektrody

Wolframové elektrody pro TIG svařování lze rozdělit podle příměsí legujících prvků. Kromě nelegované elektrody z čistého wolframu se používají elektrody legované oxidy Thoria, Lanthanu, Cerium a Zirkonu. Pro snadné odlišení jednotlivých typů se používá barevného značení vždy jednoho konce elektrody. Přřazení barev jednotlivým typům je v následující tabulce.

Tabulka č.4 Schéma značení wolframových elektrod

Označení elektrody	Barva	Legování
WP	zelená	čistý wolfram 99,8%
WT 10	žlutá	thorium 1% ThO ₂
WT 20	červená	thorium 2% ThO ₂
WT 30	fialová	thorium 3% ThO ₂
WT 40	oranžová	thorium 4% ThO ₂
WC 20	šedá	cerium 2,0% CeO ₂
WL 10	černá	lanthan 1,0% LaO ₂
WL 15	zlatá	lanthan 1,5 % LaO ₂
WL 20	modrá	lanthan 2,0% LaO ₂
WZ 08	bílá	zirkon 0,8% ZrO ₂

WP - čistý wolfram. Elektroda je vhodná pro svařování slitin hliníku střídavým proudem. Vyniká dobrou stabilitou oblouku. Naopak nevhodná je pro svařování stejnosměrným proudem. Jako jediná se WP elektroda nebrousí do špičky.

WT - obsahuje thorium. Čím vyšší je obsah thoria, tím se zlepšuje zapalovací vlastnost, trvanlivost, proudová zatížitelnost. Použití těchto elektrod je při svařování vysoce legovaných ocelí a nerezových ocelí.

WC - obsahuje cerium. Tyto elektrody jsou použitelné skoro ve všech případech. Svařují se s nimi jak nelegované tak legované oceli. Svařují se s nimi slitiny hliníku, titanu, niklu, mědi a hořčíku. WC elektrody mají velmi dobré zapalovací vlastnosti, dobrou trvanlivost a proudovou zatížitelnost.

WL - obsahuje lanthan. Elektrody jsou stejně jako u WC elektrod, univerzální pro téměř všechna použití. Oblasti nízkých proudů jsou vhodné i pro svařování plazmou a mikroplazmou, zejména při automatizovaném svařování.

WZ - obsah zirkonu minimalizuje tvorbu wolframových vměstků ve svarovém kovu. Použití je hlavně pro střídavý proud a tedy pro svařování hliníkových materiálů jako náhrada WP elektrod. Pro stejnosměrný proud je lze použít jen podmíněně.

Tabulka č.5 Wolframové elektrody v těchto rozměrech

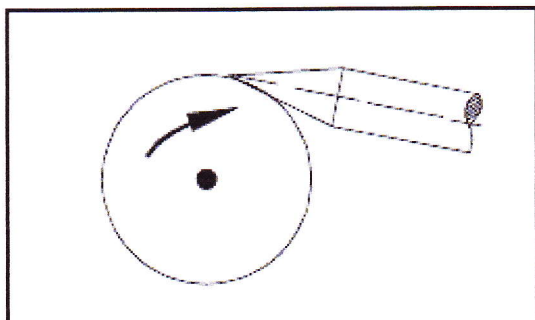
průměry [mm]								
1.0	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	6.0	6.4
délky [mm]								
50		70		150		175		

Broušení wolframových elektrod:

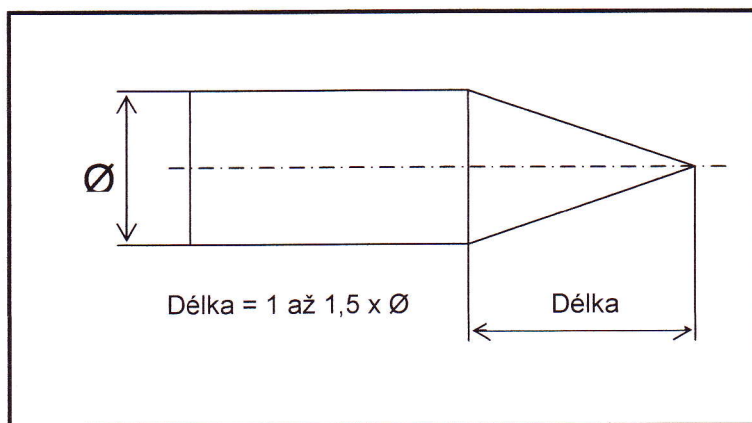
Tvar konce elektrody ovlivňuje podstatným způsobem průběh svařování a kvalitu svaru. Elektrody se brousí do špičky. Délka špičky má být asi $1 \div 1,5$ násobek průměru (pro $\varnothing 2,4$ mm = délka špičky 2,4 - 3,6 mm).

Směr broušení :

Je důležité brousit elektrodu podélně tak, aby vrypy po broušení byly rovnoběžné s podélnou osou elektrody obrázek č. 3.4.

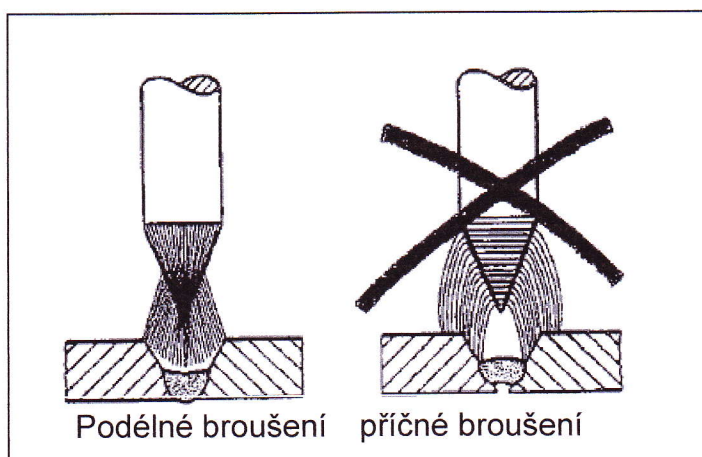


Obr. 3.4: Správné podélné broušení wolframové elektrody



Obr.3.5: Tvar konce wolframové elektrody

Při příčném broušení způsobují rýhy nestabilní oblouk a vylamování částecek wolframu, které se potom mohou dostat do lázně. Nehledě na to, že při příčném broušení bychom elektrodu snadno zlomili. Elektrodu je při broušení nutné otáčet velmi pomalu. Vliv směru broušení ukazuje následující obrázek č. 3.6.



Obr. 3.6: Vliv směru broušení elektrody

Vystředění:

Velmi záleží na tom, aby špička byla opravdu v ose elektrody. Při excentricitě vzniká nebezpečí nestabilního oblouku. Zejména při automatickém svařování pak vzniká nebezpečí, že ačkoliv je elektroda přesně fixována k materiálu úchytem elektrody, vadné vycentrování špičky způsobí, že svařovací energie není přivedena na požadované místo.

3.7 Ochranné plyny

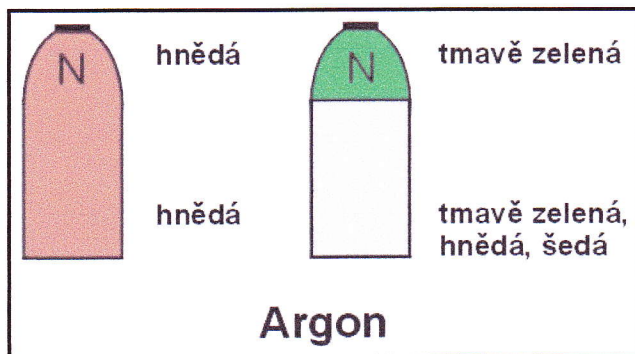
Ochranné plyny se dělí:

- Inertní (Ar, He, Ar + He)
- Reduční (Ar+H₂, H₂+N₂)
- Nereagující (N₂)

Chrání svarovou lázeň před okolní atmosférou. Vytváří příznivé podmínky pro zapálení oblouku a stabilizuje oblouk v průběhu svařování. Ovlivňuje tepelný výkon oblouku, udržuje tvar a rozměry svarového kovu a má přímý vliv na vlastnosti svarového spoje.

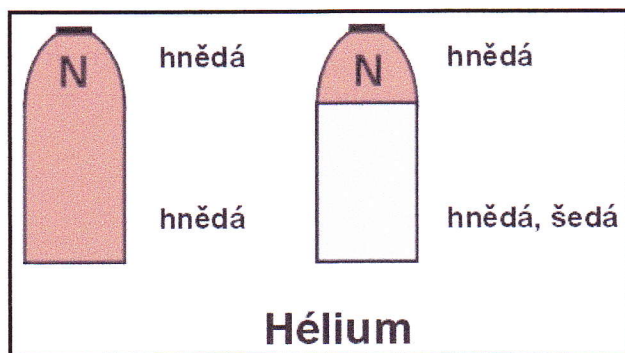
Používané plyny:

Argon - vyznačuje se malou tepelnou vodivostí. Má dobré zapalování oblouku, malý ionizační potenciál i vysokou stabilitu. Je těžší než vzduch a dosahuje vysoké teploty.



Obr. 3.7: Barevné značení plynu argon

Hélium - má vysokou tepelnou vodivost, napětí na oblouku a výrazně vyšší ionizační potenciál. Špatné zapalování oblouku, je 7x lehčí než vzduch a asi 10x lehčí než argon. Oblouk je stabilní jen při malé délce. Využívá se při svařování materiálů s vysokou tepelnou vodivostí.



Obr. 3.8: Barevné značení plynu hélium

Směs argon + helium - nejčastěji používané směsi poměru Ar – He: 70/30; 50/50; 30/70. Směsí se zvýší - napětí na oblouku, tepelný výkon oblouku, svařovací rychlost, je vhodná pro svařování větších tloušťek a pro svařování materiálu s vysokou tepelnou vodivostí. Kromě klasického argonu a směsi argonu s héliem, je dalším vývojem používání dvoj a troj komponentní směsi Alumix. Příměs dusíku ve směsích Alumix N stabilizuje a koncentruje elektrický oblouk a zlepšuje tvar závaru.

3.8 TIG svařování a jeho výhody

Inertní plyn zajišťuje efektivní ochranu svarové lázně a TOO před účinky vzdušné atmosféry. Zajišťuje velmi příznivé formování svarové housenky v kořenové oblasti, i v krycí vrstvě. Nevyžaduje použití tavidel, zajišťuje svarové spoje i u materiálů náchylných k oxidaci. Při zvýšených teplotách zajišťuje vysokou operativnost v polohách. Má uplatnění pro svařování tenkých a obtížně svařitelných materiálů. Používá se jak pro ruční tak i pro mechanizované způsoby svařování. Flexibilita oblouku při této technologii umožňuje realizaci svařování s rozdílnými tepelnými účinky na svařovaný základní materiál.

Výhodou TIG svařování je výborná kontrola nad svarovou lázní. Na rozdíl od jiných metod svařování elektrickým obloukem nedochází k neustálému přísunu přídavného materiálu do lázně. Svářeč může daleko lépe ovlivňovat svarovou lázeň a tím i vlastnosti svarového spoje. Přídavný materiál si svářeč do lázně přidává dle potřeby. Lze také svařovat zcela bez přídavného materiálu (např. roztavením lemu). Z metalurgického hlediska je tento způsob výhodou, protože chemické složení se základním materiálem jsou totožné. Je i možné použít jako přídavný materiál odstřížek nebo úlomek ze základního materiálu. Nastane nám tak zaručený homogenní spoj se stejným chemickým složením svarového kovu a základního materiálu. U svařování obalenou elektrodou nebo MIG/MAG toto není možné.

3.9 TIG svařování a jeho nevýhody

Nevýhodou této metody je vysoká technická náročnost na svařovací zařízení. Pro TIG svařování jsou obecně zařízení komplikovanější a dražší, než svářečky pro jiné běžné metody svařování. To platí zejména pro svářečky umožňující svařovat metodou TIG AC (střídavým proudem), které jsou dosti složité, mají velký počet regulačních prvků. Další nevýhodou je malá produktivita, zejména ruční svařování je pomalé. Je to dáno hlavně precizním tvořením svarové lázně. Tato technologie se nehodí na velkosériovou výrobu relativně jednoduchých svařenců, ale spíše na tvarově složité konstrukce z ušlechtilých materiálů. V některých případech, jako je svařování potrubí, se touto metodou svařují jen kořenové vrstvy, u kterých velmi záleží na kvalitě. Výplňové a krycí vrstvy se pak dělají efektivnějšími metodami.

3.10 Využití TIG svařování

Využití této metody je její uplatnění při svařování náročných, kořenových, vrstev potrubí, dále při svařování trubek kotlů v energetice a tvarově složitých konstrukcí. Svařování speciálních materiálů, heterogenních spojů, vysoce legované a nástrojové oceli, hliníkové materiály, titan, měď, bronz, hořčík, apod. Využívá se i při svařování velmi tenkých materiálů.

Tabulka č.6 Charakteristika a rozsah použití TIG

Poloha při svařování	Všechny polohy
Tloušťka základního materiálu	0.5 až 100 mm
Druh základního materiálu	Všechny druhy ocelí, včetně legovaných, slitiny Ni, Cu, Al, Ti, Ag, Zr
Svařovací proud	10 až 400 A
Svařovací napětí	10 až 40 V
Průměr přídatného materiálu	1 až 3.2 mm
Chlazení hořáku	Do 150 A plynem; nad 150 A kapalinou (vodou)

4 Praktická část

4.1 Kvalifikace postupu svařování obecně

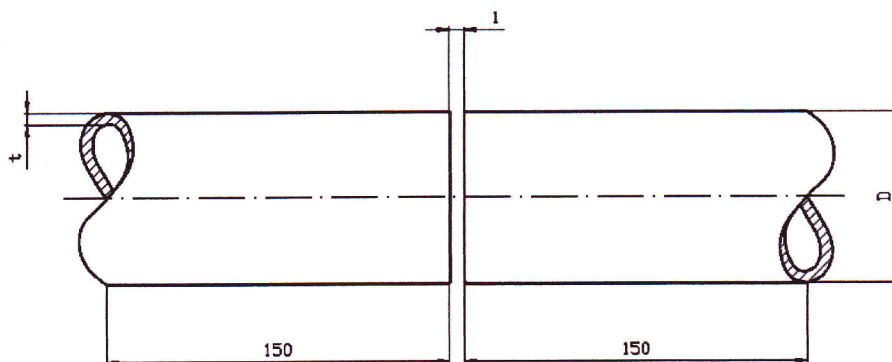
Svařování je v hodnocení jakosti uváděno jako zvláštní proces, při kterém sice různými zkouškami můžeme ověřit výslednou kvalitu provedení, ale nemůžeme ji do značné míry ovlivnit. Z tohoto důvodu musí být předem zavedeny příslušné ověřené postupy, které povedou k zajištění co nejvyšší kvality svarových spojů s co nejmenším výskytem vad. Jedna s činností, která vede k zajištění jakosti svářečských prací, je kvalifikace postupů svařování WPS.

Při celém procesu postupu kvalifikaci WPS je u svařování zkušebních vzorků přítomen dozor (inspektor). Dozor kontroluje bezpečnostní opatření, kvalifikaci personálu, dodržování parametrů svařování a zapisuje všechny údaje spojené s postupem pWPS dodaným výrobcem. Pokud dojde k odchylkám svařování a postupu, vypíše se nový postup a svařování se opakuje.

Inspektorem je navržen počet zkušebních vzorků s ohledem na velikost součásti a počtu destruktivních zkoušek. Zkušební kusy jsou inspektorem nerasmazatelně označeny, aby nedošlo k záměně. Po zavaření zkušebních vzorků nechá inspektor provést předepsané NDT a DT zkoušky. Pokud výsledky vyhovují, inspektor vystaví WPQR (protokol o kvalifikaci postupu svařování - welding procedure qualification record) se všemi náležitostmi dle požadavků příslušné normy, podle které kvalifikace probíhala. Na závěr inspektor provede vyhodnocení inspekce.

4.2 Postup při kvalifikaci postupu svařování pro opravu parovodu

Pro provedení předepsaných destruktivních zkoušek je nutné svařit tři zkušební vzorky. Dle rozměrů uvedených v normě ČSN EN ISO 15614-1 viz obr. 4.1. jsem nechal zhotovit (strojní pilou, soustružením) 6 kusů trubek 76 x 6,3 x 150mm jakosti 12022.1 totožné se základním materiálem parovodu.



Obr. 4.2: Zkušební vzorek dle normy ČSN EN 15614-1

1 – příprava spoje ke svařování

D – vnější průměr trubky

t – tloušťka materiálu

4.3 Vlastnosti základního materiálu

Jakost 12022.1 - (1.0405). Rozměr Ø 76 x 6,3 mm.

Materiálový inspekční certifikát trubky je uveden v příloze č. 5.

Jedná se o nízkouhlíkovou ocel, využívanou především pro energetické zařízení.

Tabulka č.7 Vlastnosti základního materiálu

Chemické složení:							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
0.17	0.59	0.279	0.05	0.03	0.11	0.007	0.005
Mechanické vlastnosti:							
		Mez kluzu Re MPa	Mez pevnosti Rm MPa				
předpis		min. 255	440-570				
Výsladky		292	442				
zkoušek		296	444				

4.4 Vlastnosti přídavného materiálu

Přídavný materiál volím s přibližně stejným chemickým složením a parametry. Atesty přídavného materiálu jsou uvedeny v příloze č. 6. a 7. Volím svařovací drát GI 113 průměr 2 a 2.5 mm, dle katalogu firmy ESAB Vamberk.

Tabulka č.8 Vlastnosti přídavného materiálu Ø 2 mm

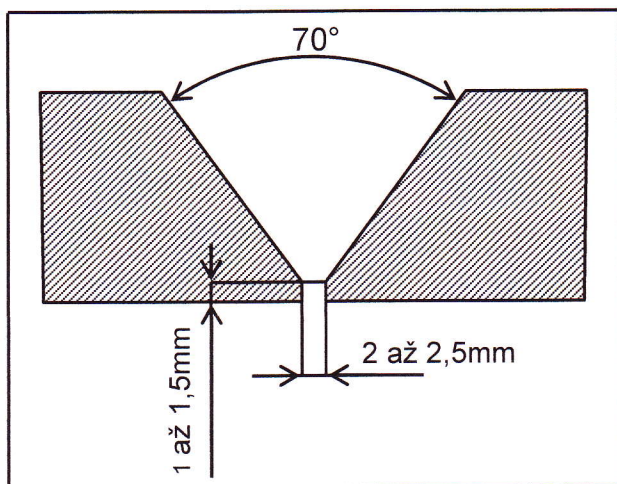
Chemické složení:									
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V
0.080	1.100	0.600	0.017	0.011	0.050	0.020	0.010	0.030	0.001
Mechanické vlastnosti:									
		Mez kluzu Re MPa		Mez pevnosti Rm MPa					
Výsledky zkoušek		430		500					

Tabulka č.9 Vlastnosti přídavného materiálu Ø 2,5 mm

Chemické složení:						
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
0.080	1.100	0.600	0.015	0.010	0.040	0.020
Mechanické vlastnosti:						
		Mez kluzu Re MPa		Mez pevnosti Rm MPa		
Výsledky zkoušek		430		500		

4.5 Úprava svarových ploch

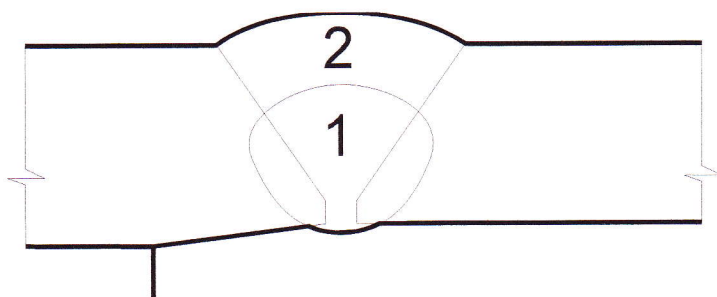
Třískovým obráběním (soustružením) se na každém z šesti trubek jeden konec upraví pro WB – svar, dle normy ČSN EN 13 1075, s ohledem na metodu svařování 141 TIG. viz obr. č. 4.3. Konce upravených ploch, vnitřní i vnější, se po obvodu opracují úběrem ve vzdálenosti minimálně 5 mm od plochy řezu.



Obr.4.3: Tvar svarového spoje

4.6 Parametry a metody svařování

Svařovat se bude obloukovým svařováním metodou 141 TIG na dvě vrstvy, viz obr. č. 4.4. Jak kořenová tak i povrchová vrstva. Metodou 141 TIG, jsem se již podrobně zabýval v teoretické části v odstavci 3.



Obr.4.4: Postup kladení svarových housenek

4.7 Postup svařování zkušebních vzorků

Při svařování nesmí být trubky zatíženy žádnou vnější silou. Vzorky se budou vařit v poloze PF (kolmo na osu trubky pohybem z dolní polohy směrem nahoru), bez pootočení. Jednotlivé vzorky se nastehují v délce 3 mm, ve třech bodech pootočením o úhel 120°. Svarové vrstvy 1 a 2 se zavaří dle parametrů uvedených v tabulce č. 10.

Tabulka č.10 Parametry svařování.

Svarová housenka	1	2
Metoda svařování	141	141
Průměr přídavného materiálu (mm)	2	2,5
Svařovací proud (A)	80-110	100-120
Svařovací napětí (V)	10-15	10-20
Druh proudu/polarita	= (-)	= (-)
Ochranný plyn/průtok	Ar- I1 / 8-14 l/min	
Wolframové elektrody, druh/průměr	WT20 / 2,4mm	

4.8 Kvalifikace svářeče

Dle normy ČSN EN 287-1, uvedené v tabulce č. 11, musí svářeč složit příslušné zkoušky za účelem získání odborné způsobilosti, pro svařování zařízení podléhající různě náročným, technickým požadavkům. Svářeč skládá zkoušku na plechách, trubkách, tyčích a to v rámci dané skupiny, nebo podskupiny metody svařování, druhu základního materiálu, polohy svařování a rozměrů zkušebního vzorku.

Tabulka č.11 Kvalifikace svářeče pro zhotovení daného svaru

ČSN EN287 – 1 141 T BW 1.2 wm t6,3 D76 PF ss nb	
Vysvětlení:	
ČSN EN287 – 1	Evropská norma pro kvalifikaci svářeče
141	Metoda svařování
T	Trubka
BW	Tupý svar
1.2	Skupina materiálů s mezí kluzu $R_e \leq 360$ MPa).
wm	Přídavný materiál (s použitím přídavného materiálu)
t6,3	Tloušťka trubky [mm]
D76	Průměr trubky [mm]
PF	Poloha svařování
ss	Zhotovení svaru (jednostranný)
nb	Zhotovení svaru (kořenová vrstva bez podložky)

5 Návrh destruktivních a nedestruktivních zkoušek a jejich vyhodnocení

5.1 Požadované nedestruktivní zkoušky dle ČSN EN ISO 15614-1

Vizuální kontrola

Určení stupně jakosti svarového spoje zkušebních vzorků se provede dle normy ČSN EN ISO 5817. Každý svar musí být v rozsahu 100%, podroben vizuální kontrole povrchu. Hodnotí se zejména trhliny, póry, povrchové bubliny, nadměrně převýšený svar, nadměrná strmost, převýšení svaru, přeteklý povrch svaru, lineární přesazení, úhlové přesazení, prohloubený povrch svaru, nepravidelná šířka a povrch svaru a chybné napojení atd. Výsledek vizuální prohlídky se zaznamená do protokolu se zařazením do příslušného klasifikačního stupně a porovná se stupněm požadovaným. Pro náš případ je požadován stupeň B, viz protokol č. 3/12/09 v příloze č. 8.

Zkouška magnetická prášková – rozsah 100%

Označení a příprava vzorků	dle ČSN EN ISO 15614-1
Zkoušení	dle ČSN EN 1290
Vyhodnocení	dle ČSN EN 1291 – stupeň přípustnosti 1
Počet vzorků - 3 ks	

V průběhu provedené kontroly nebyly zjištěny na kontrolních svarech nepřístupné indikace. Viz protokoly č. 02 a 03 /2009 v přílohách č. 9 a 10. Svar vyhovuje stupni přípustnosti č. 1.

Zkouška prozářením – rozsah 100%

Označení a příprava vzorků	dle ČSN EN ISO 15614-1
Zkoušení	dle ČSN EN 444 + ČSN EN 1435
Vyhodnocení	dle ČSN EN 12 517 – 1 stupeň přípustnosti 1
Počet vzorků - 3 ks	

Vyhodnocení radiogramů byl proveden v souladu s normou ČSN EN 12 517, přípustný klasifikační stupeň je 1. viz protokoly č. 31 a 36 v přílohách č. 11 a 12.

Nebyly zjištěny žádné nepřípustné vady. Jen u vzorku R2A zjištěná vada, kód 2011 (porózita a plynové póry).

5.2 Požadované destruktivní zkoušky.

Příčná zkouška tahem svarového spoje

Označení a příprava vzorků dle ČSN EN 895 + ČSN EN ISO 15614-1

Zkoušení dle ČSN EN 10 002-1

Vyhodnocení dle ČSN EN 10 002-1

Počet vzorků - 2 ks

Výsledky zkoušky jsou uvedeny v protokolu č. E48/09 v příloze č. 13 a v tabulce č. 12.

Tabulka č.12 Výsledky zkoušky tahem

Číslo testu	Tloušťka [mm]	Šířka [mm]	Průřez [mm]	Napětí síla při 0.5% [MPa]	Rm pevnost [MPa]	Maxi mální síla [kN]	Poměr 0.5%/Rm
1	6.000	20.20	121.2	350	498	60.37	0.703
2	6.000	20.00	120.0	347	508	60.97	0.684

Kritérium: Pevnost tahu zkušebního vzorku nesmí být nižší než minimální předepsaná hodnota základního materiálu. Zkouška je vyhovující.

Zkouška lámavosti ohybem

Označení a příprava vzorků dle ČSN EN 910 + ČSN EN ISO 15614-1

Zkoušení dle ČSN EN 910 + ČSN EN ISO 15614-1

Vyhodnocení dle ČSN EN 910 + ČSN EN ISO 15614-1

Počet vzorků - 2 ks FBB + 2ks RBB průměr trnu: d=4t (nebo nejbližší nižší)

úhel ohybu - 180 ° (ČSN EN 15614-1).

Výsledky zkoušky jsou uvedeny v protokolu č. E48/09 v příloze č. 14 a v tabulce č. 13.

Tabulka č.13 Výsledky zkoušky lámavosti ohybem

Číslo vývalku zkoušky	Tloušťka [mm]	Šířka [mm]	Průměr trnu [mm]	Vzdálenost podpěr	Úhel ohybu α stupeň	Výsledek zkoušky
Tažena vnější strana	6,2	20,0	24	42,6	180°	Vyhověla
Tažena vnější strana	6,2	20,0	24	42,6	180°	Vyhověla
Tažena vnitřní strana	6,2	20,0	24	42,6	180°	Vyhověla
Tažena vnitřní strana	6,2	20,0	24	42,6	180°	vyhověla

Během zkoušení se na vzorcích neobjevily žádné vady v žádném směru, které by přesahovaly velikost 3mm. Zkouška je vyhovující.

Zkouška rázem v ohybu

Označení a příprava vzorků dle ČSN EN 875 ČSN EN ISO 15614-1
Zkoušení dle ČSN EN 10 045-1
Vyhodnocení dle ČSN EN 10 045-1

Tabulka č.14 Výsledky zkoušky rázem v ohybu

Číslo vzorku	Tloušťka [mm]	Šířka [mm]	Průřez [mm ²]	KV [J]	KCV [J/cm ²]	T [°C]
1	8,0	5,0	40,0	82	206	20
2	8,0	5,0	40,0	94	236	20
3	8,0	5,0	40,0	39	98	20

Dle ČSN EN 13480 – 2. příloha B- tabulka 3.1 (požadavky na nárazovou práci zkušební tyč s menší tloušťkou a vrubem tvaru V, jestliže tloušťka základního materiálu je menší než 10 mm). Zkoušený vzorek má rozměry 10x5 mm, pro který platí, dle tabulky nárazová práce KV minimálně 14 J.

Kritérium: pro ocel jakosti 12022.1 typ vzorku 10x5 mm KV= minimum 14 J.

Průměrná hodnota tří vzorků je 71,6 J. Tedy výsledky vyhovují a splňují kritérium základního materiálu. KCV = vrubová houževnatost. Nejnižší, pro ocel třídy 12022 je 59 J/cm². Podle výsledků zkoušky vrubová houževnatost neklesla pod tuto hodnotu, proto je zkouška pozitivní.

Zkouška tvrdosti HV10

Označení a příprava vzorků dle ČSN EN ISO 6507-1
Zkoušení dle ČSN EN 1043-1 + ČSN EN ISO 15614-1
Vyhodnocení dle ČSN EN 1043-1 + ČSN EN ISO 15614-1
počet vzorků - 1 ks (2 linie)

Výsledky zkoušky jsou uvedeny v protokolu č. E48/9 v příloze č. 16 a v tabulce č. 15.

Tabulka č.15 Výsledky zkoušky tvrdosti

	Základní mat.			TOO			svar			TOO			Základní mat.		
Vnější strana	150	145	149	153	150	148	153	161	52	175	158	151	142	143	147
střed	137	147	137	152	151	153	164	169	61	163	160	161	148	139	142
kořen	138	139	135	150	145	154	162	166	71	168	162	156	132	130	129

Dle normy ČSN EN 15614 – 1, je pro daný základní materiál nejvyšší přípustná hodnota HV10 = 380. Z naměřených hodnot uvedených v tabulce lze vyčíst, že hodnoty tvrdosti podle Vickerse nepřesahují tuto hodnotu, zkouška je vyhovující.

Zkouška makrostruktury

Označení a příprava vzorků dle ČSN EN 1321 + ČSN EN ISO 15614-1

Zkoušení dle ČSN EN 1321 + ČSN EN ISO 15614-1

Vyhodnocení dle ČSN EN 1321 + ČSN EN ISO 5817

Jeden vzorek. Stupeň jakosti "B". Použité leptadlo makrostruktury: A.1(nital). Vzorek odebraný kolmo k ose svaru. Výsledky zkoušky jsou uvedeny v protokolu č. LP/09-P249/288, v příloze č.17 a v tabulce č. 16.

Tabulka č.16 Výsledky zkoušky makrostruktury

Číslo dle ČSN EN ISO 5817	Referenční číslo dle ČSN EN ISO 6520-1	Název vady	Výsledný stupeň jakosti
1. Povrchové vady			
1.1	100	Trhlina	B
1.3	2017	Povrchový pór	B
1.5	401	Studený spoj	B
1.6	4021	Neprovařený kořen	B
1.7	5011	Souvislý zápal	B
1.8	5013	Vruby v kořeni	B
1.9	502	Nadměrné převýšení tupého svaru	B
1.11	504	Nadměrné převýšení kořene	B
1.13	506	Přetečení	B
1.14	509	Proláklina	B
	511	Neúplné vyplnění svaru	B
1.15	510	Díra	B
1.17	515	Hubený kořen	B
1.18	516	Pórovitost	B
2. Vnitřní vady			
2.1	100	Trhlina	B
2.3	2011	Pór	B
2.7	202	Staženina	B
2.9	300	Pevný vměstek	B
	301	Struskový vměstek	B
	302	Tavidlový vměstek	B
	303	Oxidický vměstek	B
2.10	304	Kovový vměstek (jiný než měděný)	B
2.11	3042	Měděný vměstek	B
2.12	4011	Studený spoj na svarové ploše	B
	4012	Studený spoj mezi housenkami	B
	4013	Studený spoj v kořeni	B
3. Vady v geometrii spoje			
3.1	507	Lineární přesazení	B
4. Vícenásobné vady			
4.1	žádné	Vícenásobné vady v libovolném průřezu	B

Makroskopická zkouška nám zhodnotila celistvost svaru, způsob kladení svarových housenek, zobrazila hranici natavení a oblast tepelně ovlivněné oblasti. Svar byl vyhodnocen jako vyhovující ve stupni jakosti B.

5.3 Protokol o schválení postupu svařování

Výsledky všech zkoušek požadovaných dle ČSE EN ISO 15614 -1 pro kvalifikaci postupu svařování byly vyhovující.

Proto jsem zpracoval protokol o kvalifikaci postupu svařování – WPQR, který je uveden v příloze č. 2, protokolu WI-5-02-10. Na základě tohoto protokolu jsem vypracoval v rozsahu platnosti dané normou ČSN EN ISO 15614 -1 Kvalifikovaný postup svařování - WPS pro provedení opravy parního potrubí. WPS je uvedena v příloze č. 4, protokol č. 4/46/02/10.

6 Oprava parního potrubí svařováním

6.1 Charakteristika poruchy

Netěsnost parního potrubí, únik syté páry o teplotě 320°C a tlaku 11.3 MPa a tím vzniklý pokles tlaku v soustavě parní komory, která je součástí zařízení kotle 10. Závodu č. 4. Energetika podniku Arcelor Mittal.

6.2 Proudící médium

Sytá pára (nasycená pára) je pára, která je v termodynamické rovnováze s kapalinou o stejné teplotě a tlaku. Jedná se o dynamickou rovnováhu, při které je vypařená látka přesně nahrazena zkondenzovanou (počet molekul opouštějících hladinu je roven počtu molekul, které se do kapaliny po zkapalnění vrací).

6.3 Postup opravy vady

Po určení místa netěsnosti v části kotle a následovného odstavení celého tlakového celku, vychladnutí a poklesu hladiny, se vystaví bezpečnostní příkaz pro otevření spalovací komory. Zabezpečí se místo proti pádu (postavením lešení) pro přístup k danému místu, kde se nachází únik příslušného média.

Pro přesnou lokalizaci netěsnosti se znovu napustí dané potrubí, v tomto případě parovod syté páry varnice bubnu. Zvýší se tlak v soustavě a určí se přesná lokalizace úniku média. Místo se označí a vyčká se na vychladnutí a vypuštění.

Vystaví se bezpečnostní příkaz a požární příkaz s dozorem jen v případě, je-li nutný pro charakter daného místa a eliminaci případných vzniků požárů při svařování.

6.4 Stanovení charakteru vady a příčin jejího vzniku

Vizuální kontrola ukázala trhlinu v potrubí vlivem nadměrného oslabení stěny trubky. Působením teploty a tlaku v soustavě došlo k prasknutí trubky a úniku kapaliny do prostoru spalovací části kotle.

Kontrola potrubí ultrazvukem ukázala, do jaké vzdálenosti je oslabení stěny trubky rozšířeno, a ve kterém místě je již potrubí bez závad, popřípadě jestli se nenachází další vada tohoto charakteru na jiných místech, nebo jiných trubkách parní komory, kde by mohlo dojít také k oslabení tloušťky stěny.

Bylo zjištěno, že trubka parovodu ($\varnothing 76 \times 6,3$ mm) je poškozená ve směru proudění spalin v kotli zašleháním částicemi popílku. Největší opotřebení trubek bylo zjištěno od hrany vyzděného hřebene nad šikminou do výšky cca 300 mm. V tomto místě byl vnější povrch jednotlivých trubek zašlehán do plošek ohraničených ostrou hranou. Bude zapotřebí vyříznout 250 mm délky potrubí s vadou přibližně uprostřed.

6.5 Technologický postup opravy parovodu

Úhlovou bruskou se vyřízne část potrubí o délce $l = 250$ mm. Oba konce parovodu se třískovým obráběním (ukosovací frézou) upraví do roviny a stanoveného úhlu (viz WPS). Pomocí stopkové frézy se opracuje vnitřní a vnější část potrubí na obou koncích a to do hloubky $0,5 \pm 1$ mm. Stejně se upraví i konce nové části potrubí, které bude navařeno na místo staré poškozené části. Nová část trubky se pomocí vodících svěrek vystředí s trubicí parovodu. Nastehují se třemi stehy v délce 6 mm a vzájemném pootočení o 120° . Postup samotného svařování dle WPS viz příloha č. 4. Kvalifikace svářeče pro zhotovení daného svaru dle normy ČSN EN287-1. **141 T BW 1.2 wm t6,3 D76 PF ss nb**. Po zavaření, se oba svary povrchově očistí ocelovým kartáčem. Provede se vizuální kontrola svarů dle ČSN EN 970 a vyhodnocení vad podle ČSN EN ISO 5817. Pro důkladnější ověření povrchových vad se provede magnetová prášková zkouška dle ČSN EN 1290 a vyhodnocení dle ČSN EN1291. Dále provedeme zkoušku prozářením snímkováním ze dvou stran u obou svarů, dle ČSN EN 1435, ČSN EN 444 a vyhodnocení dle ČSN EN 12517. Jsou- li zkoušky pozitivní, uzavře se bezpečnostní a požární příkaz. Tlakovou zkouškou se ověří ta část kotle, na kterém probíhala oprava. Zkušební tlak dle interních předpisů pro dané zařízení a to pro K10 parní komory je zkušební tlak 13.7 Mpa. Jsou- li zjištěny netěsnosti, odsraní se pomocí tohoto technologického postupu. Jestli je tlaková zkouška pozitivní, tato vada je tímto odstraněna a může dojít k najetí kotle a zapojení do provozu.

V průběhu opravy je dokumentován svářečský deník se všemi náležitostmi, dokumentacemi o provedených zkouškách, postupu svařování při opravě a kvalifikaci svářeče. Tento dokument o provedené opravě (svářečský deník) se archivuje.

Závěr

V bakalářské práci jsem zpracoval studii svařování nízkouhlíkových ocelí a studii metody svařování 141. Na základě teoretické části bakalářské práce jsem navrhl předběžnou kvalifikaci postupu svařování (pWPS). Dále jsem podle normy ČSN EN ISO 15614 – 1 kvalifikoval postup svařování a zpracoval protokol kvalifikaci postupu svařování (WPQR). Na základě tohoto postupu jsem vypracoval kvalifikovanou specifikaci postupu svařování (WPS) pro opravu potrubí parovodu. Získané výsledky jsem použil při návrhu technologického postupu pro opravu potrubí parovodu na dopravu syté páry kotle 10 varníku, závodu 4- energetika podniku Arcelor Mittal Ostrava a.s.

Použitá literatura

- [1] KOUKAL J., SCHWARZ D., HAJDÍK J. *Materiály a jejich svařitelnost*, Ostrava 2009. Český svářečský ústav s.r.o. Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, 240 s. ISBN 978-80-248-2025-5
- [2] KOUKAL J., ZMYDLENÝ T. *Svařování 1*. Ostrava 2005 : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 136 s. ISBN 80-248-0870-6.
- [3] Kolektiv autorů: *Materiály a jejich svařitelnost*, Ostrava 2001, Zeross, 292 s.
- [4] ORSZÁGH V., ORSZÁGH P. *Zváranie Tig ocelí a neželezných kovov*, Bratislava 1998. Polygrafia SAV, 300 s.
- [5] Katalog firmy ESAB Vamberk s.r.o. 2007.
- [6] GATNAR M. Provozní předpis kotle K10, Ostrava 2007, Ev. č. PP 46/11/14-95.
- [7] ČSN EN ISO 15614 – 1. *Stanovení a kvalifikace postupu svařování kovových materiálů – Zkouška postupu svařování - Část 1: obloukové a plamenové svařování ocelí a obloukové svařování niklu a slitin niklu*. 5.2005.
- [8] ČSN EN 287 – 1. *Zkoušky svářečů – Tavné svařování. Část 1: Oceli*. 11.2006
- [9] ČSN EN 1075. *Potrubí. Úprava konců součástí potrubí pro svařování*. 1.1996.
- [10] ČSN EN 1290. *Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení svarů magnetickou metodou práškovou*. 1.2000.
- [11] ČSN EN 1291 *Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení svarů magnetickou metodou práškovou - Stupně přípustnosti*. 1,2000.
- [12] ČSN EN. 910. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkoušky lámavosti*. 12.1997.
- [13] ČSN EN 444. *Nedestruktivní zkoušení - Základní pravidla pro radiografické zkoušení kovových materiálů rentgenovým zářením a zářením gama*. 10.1996.
- [14] ČSN EN 12517-1. *Nedestruktivní zkoušení svarů - Část 1: Hodnocení svarových spojů u oceli, niklu, titanu a jejich slitin při radiografickém zkoušení - Stupně přípustnosti*. 10.2006.
- [15] ČSN EN 895 *Destruktivní zkoušky svarových spojů kovových materiálů - Příčná zkouška tahem*. 3.1997.
- [16] ČSN EN 10 002-5. *Kovové materiály - Zkouška tahem - Část 5: Zkouška tahem za zvýšené teploty*. 7.1998.
- [17] ČSN EN 875. *Destruktivní zkoušky svarových spojů kovových materiálů - Zkoušky rázem v ohybu - Umístění zkušebních tyčí, orientace vrubu a zkoušení*. 1.1998.

- [18] ČSN EN 10 045-1. *Kovové materiály - Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho - Část 1: Zkušební metoda /V a U vruby/*. 6.1998.
- [19] ČSN EN 13480-5. *Kovová průmyslová potrubí - Část 2: Materiály*. 6.2003.
- [20] ČSN EN ISO. 6507-1. *Kovové materiály - Zkouška tvrdosti podle Vickerse - Část 1: Zkušební metoda*. 8.2006.
- [21] ČSN EN 1043-1. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkouška tvrdosti - Část 1: Zkouška tvrdosti spojů svařovaných obloukovým svařováním*. 1.1998.
- [22] ČSN EN 050211. *Tepelné a mechanické spracovanie zvarových spojov nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Všeobecné zásady*. 10.1992.
- [23] ČSN EN 1321. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů*. 7.1998.
- [24] ČSN EN ISO 5817 *Svařování - Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) - Určování stupňů kvality*. 1.2008.
- [25] ČSN EN 1668. *Svařovací materiály - Tyče a dráty pro obloukové svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí wolframovou elektrodou v inertním plynu a jejich svarové kovy – Klasifikace*. 4.1999.

Seznam příloh

- Příloha č. 1. Protokol č. 4/46/ 12/09 Předběžná specifikace postupu svařování (pWPS)
- Příloha č. 2. Protokol č. WI-5-02-10 Kvalifikace postupu svařování WPQR, strana 1-4
- Příloha č. 3. Protokol č. IC-WI-5-02-10 Inspekční certifikát o Kvalifikaci postupu svařování
- Příloha č. 4. Protokol č. 4/46/ 02/10 Specifikace postupu svařování (WPS)
- Příloha č. 5. Inspekční certifikát trubky Ø 76 x 6,3 mm
- Příloha č. 6. Atest přídavného material drátu Ø 2 mm
- Příloha č. 7. Atest přídavného material drátu Ø 2.5 mm
- Příloha č. 8. Protokol č. 3/12/09 Vizuální zkouška sarových spojů
- Příloha č. 9. Protokol č. 02/2009 Magnetická prášková zkouška
- Příloha č. 10. Protokol č. 03/2009 Magnetická prášková zkouška
- Příloha č. 11. Protokol č. 31. Zkoušky prozářením
- Příloha č. 12. Protokol č. 36. Zkoušky prozářením
- Příloha č. 13. Protokol č. E48/09 Zkoušky tahem kovů
- Příloha č. 14. Protokol č. E48/09 Zkoušky rázem v ohybu
- Příloha č. 15. Protokol č. E48/09 Zkoušky ohybem
- Příloha č. 16. Protokol č. E48/09 Zkoušky tvrdosti
- Příloha č. 17. Protokol č. LP/09 – P249/288 Zkoušky makrostruktury strana 1-2